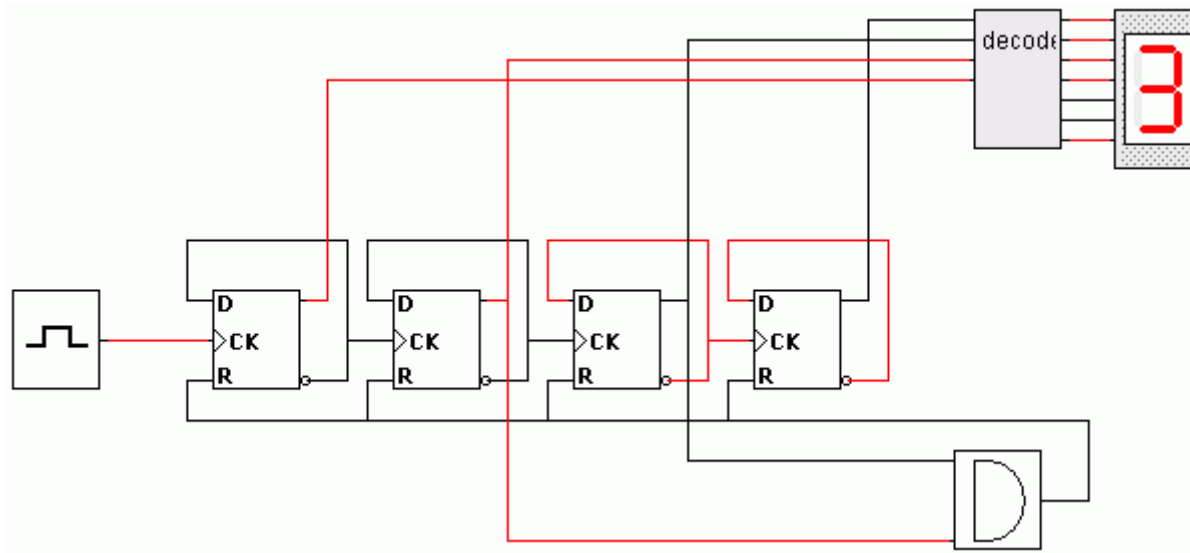


Sistemas Digitais (SD)

Contadores



■ Na aula anterior:

▶ Registos

- Registos simples
- Banco de registos
- Registos de deslocamento
- Registos multimodo



SEMANA	TEÓRICA 1	TEÓRICA 2	PROBLEMAS/LABORATÓRIO
17/Fev a 21/Fev	Introdução	Sistemas de Numeração	
24/Fev a 28/Fev	CARNAVAL	Álgebra de Boole	P0
02/Mar a 06/Mar	Elementos de Tecnologia	Funções Lógicas	VHDL
9/Mar a 13/Mar	Minimização de Funções	Minimização de Funções	L0
16/Mar a 20/Mar	Def. Circuito Combinatório; Análise Temporal	Circuitos Combinatórios	P1
23/Mar a 27/Mar	Circuitos Combinatórios	Circuitos Combinatórios	L1
30/Mar a 03/Abr	Circuitos Sequenciais: Latches	Circuitos Sequenciais: Flip-Flops	P2
06/Abr a 10/Abr	FÉRIAS DA PÁSCOA	FÉRIAS DA PÁSCOA	FÉRIAS DA PÁSCOA
13/Abr a 17/Abr	Caracterização Temporal	Registos	L2
20/Abr a 24/Abr	Contadores	Circuitos Sequenciais Síncronos	P3
27/Abr a 01/Mai	Síntese de Circuitos Sequenciais Síncronos	Síntese de Circuitos Sequenciais Síncronos	L3
04/Mai a 08/Mai	Exercícios	Memórias	P4
11/Mai a 15/Mai	Máq. Estado Microprogramadas: Circuito de Dados e Circuito de Controlo	Máq. Estado Microprogramadas: Microprograma	L4
18/Mai a 22/Mai	Circuitos de Controlo, Transferência e Processamento de Dados de um Processador	Lógica Programável	P5
25/Mai a 29/Mai	P6	P6	L5

Teste 1

■ Tema da aula de hoje:

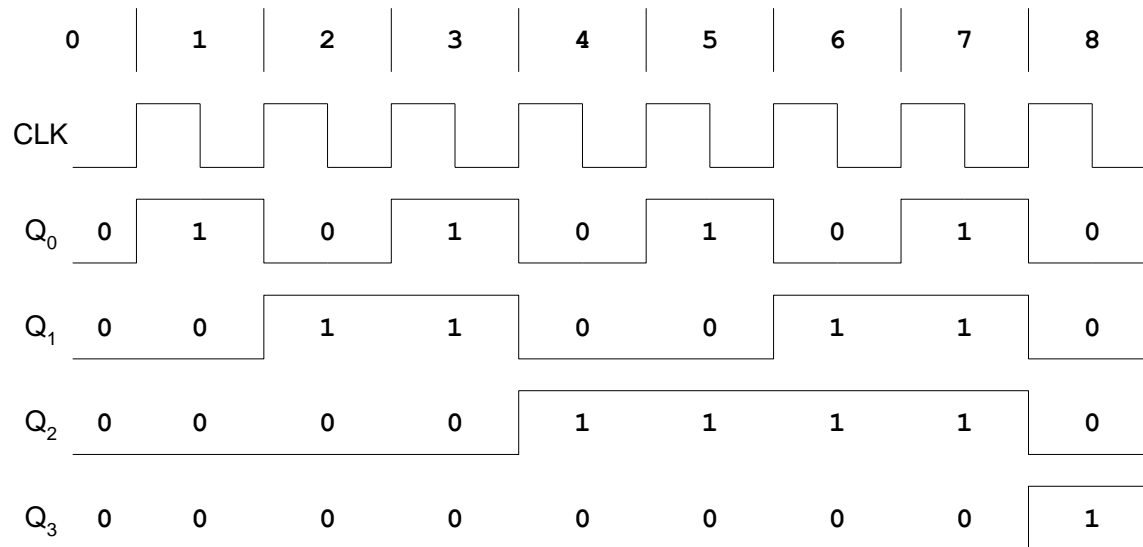
- ▶ Contadores síncronos
 - Contadores de módulo 2^n
 - Projecto de contadores
 - Frequência máxima de funcionamento
 - Situação de “lock-out”
 - Simbologia
 - Contador em anel
 - Contador Johnson
 - Linear feedback shift-register
- ▶ Contadores assíncronos
 - Contadores por pulsação
 - Contadores assíncronos vs. síncronos

□ Bibliografia:

- **M. Mano, C. Kime:** Secções 7.6
- **G. Arroz, J. Monteiro, A. Oliveira:** Secção 6.6

■ Contador Binário


- Um contador binário é um registo que, por aplicação sucessiva de impulsos de relógio, segue uma sequência de estados correspondente à numeração binária.

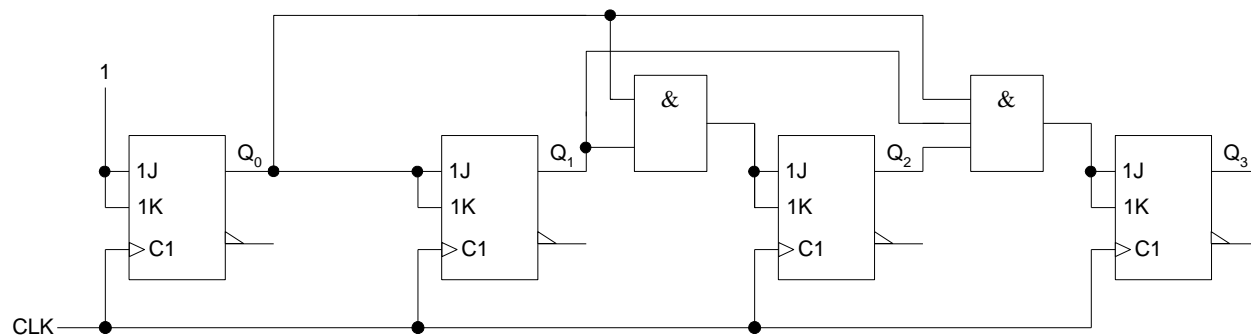


■ Contador Binário (cont.)

► Exemplo:

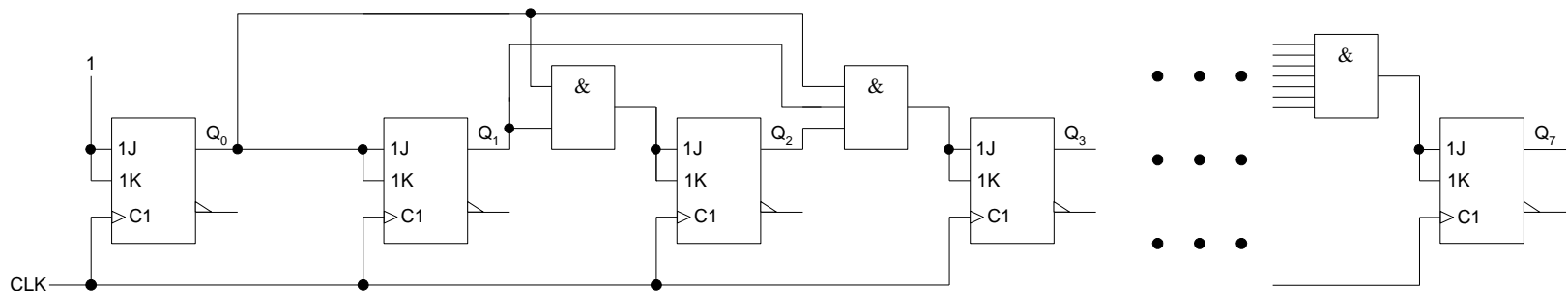
Utilizando FFs Toggle (p.ex. JK com $J = K$), o projecto do circuito aproveita o facto de, na contagem binária, o Q_0 estar sempre a variar, o Q_1 variar quando $Q_0 = 1$, o Q_2 variar quando $Q_0 = Q_1 = 1$, etc.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
CLK									
Q_0	0	1	0	1	0	1	0	1	0
Q_1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
Q_2	0	0	0	0	1	1	1	1	0
Q_3	0	0	0	0	0	0	0	0	1



■ Contador Binário (cont.)

- ▶ A estrutura do contador é facilmente generalizável para contadores módulo 2^N .
- ▶ No entanto, esta estrutura está limitada pelo facto de o *fan-in* das portas AND ir aumentando sucessivamente até à última porta, que tem N entradas.

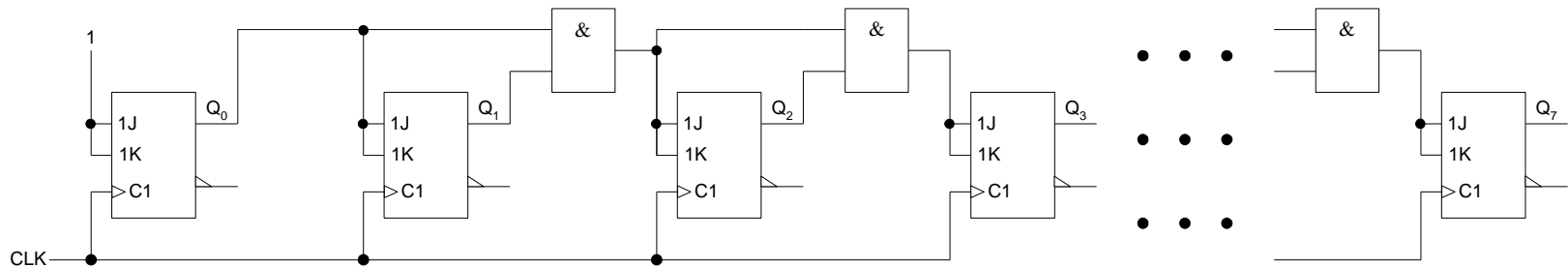


- ▶ A frequência máxima de relógio a que este contador pode funcionar é:

$$f_{\max} = \frac{1}{T_{\min}} = \frac{1}{t_{pFF} + t_{pAND} + t_{suFF}}$$

■ Contador Binário (cont.)

- Aproveitando os produtos parciais já realizados, é possível modificar a estrutura do contador para usar apenas portas AND de 2 entradas, mantendo a funcionalidade.

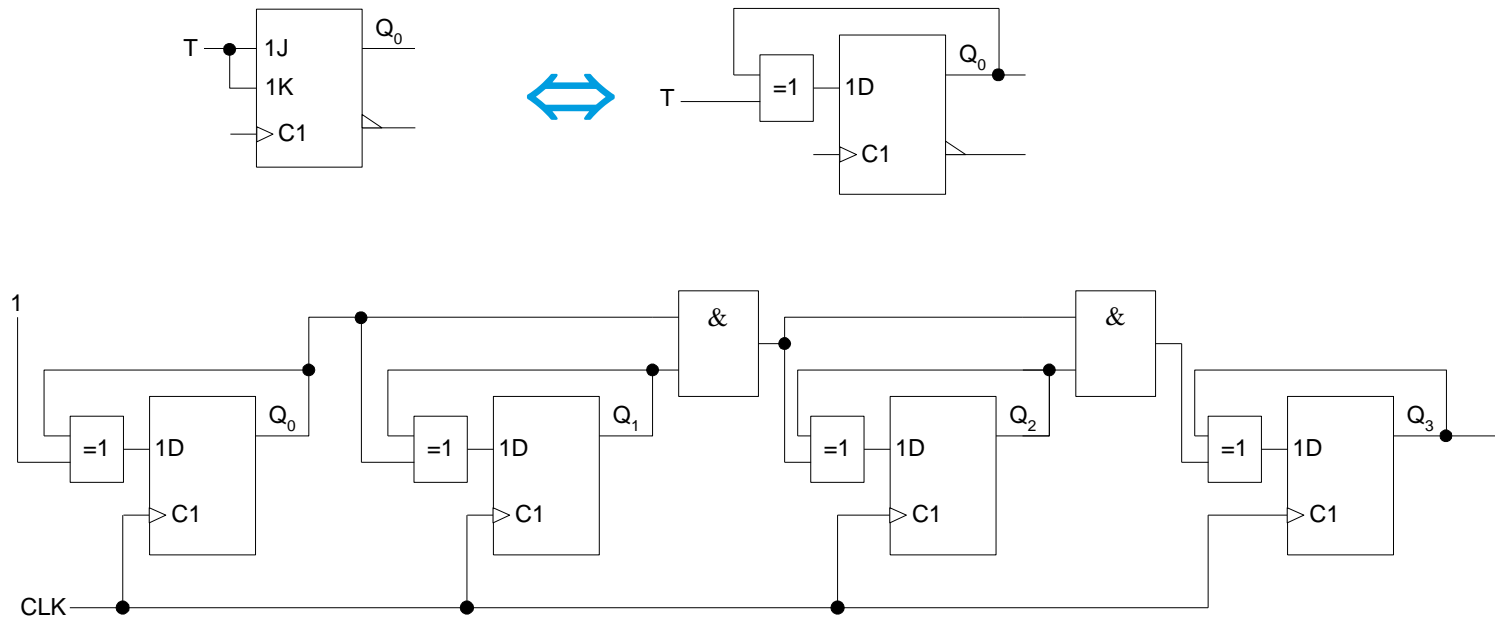


- ▶ No entanto, o caminho crítico entre FFs aumenta substancialmente, limitando a frequência máxima a que o contador pode funcionar.

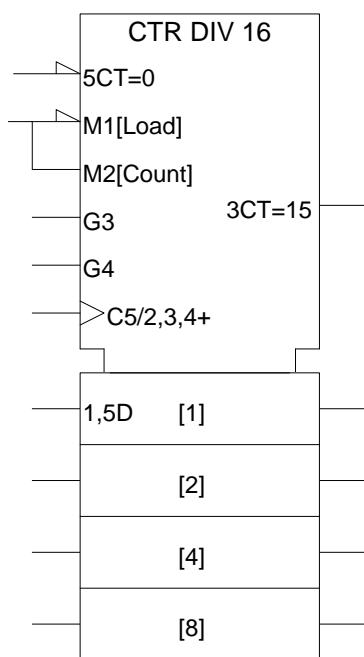
$$f_{\max} = \frac{1}{T_{\min}} = \frac{1}{t_{pFF} + (n-2)t_{pAND} + t_{suFF}}$$

■ Contador Binário com Flip-Flops tipo D

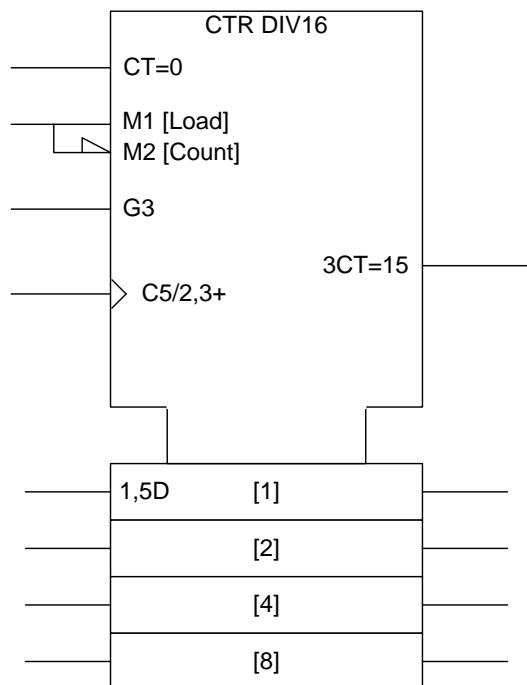
- O mesmo contador pode ser realizado definindo um FF Toggle a partir de FF D e aproveitando directamente a mesma estrutura.



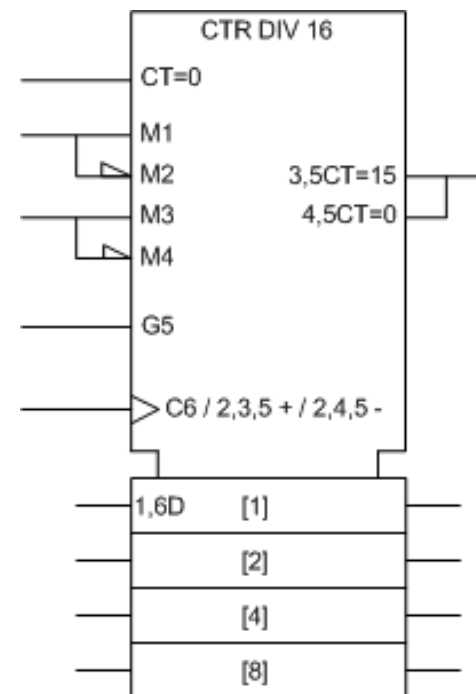
■ Exemplos de Componentes



Contador binário, módulo 16, com carregamento paralelo e clear síncrono



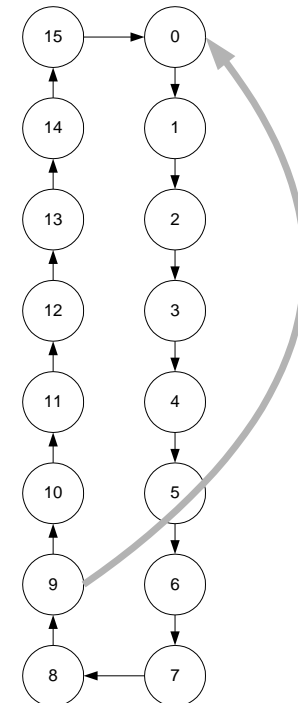
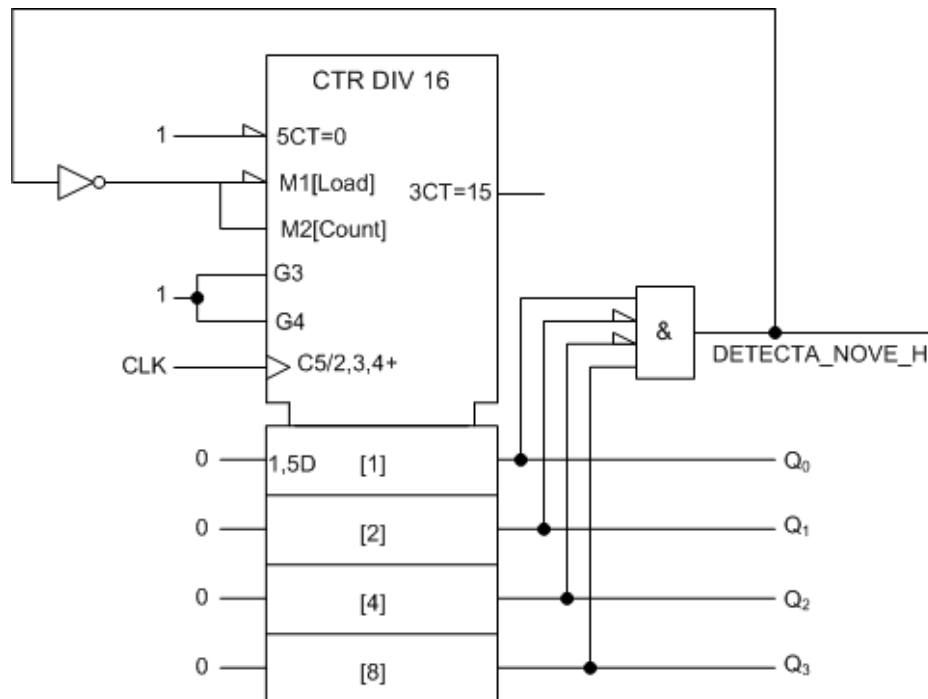
Contador binário, módulo 16, com carregamento paralelo e clear assíncrono



Contador binário bidireccional, módulo 16, com carregamento paralelo e clear assíncrono

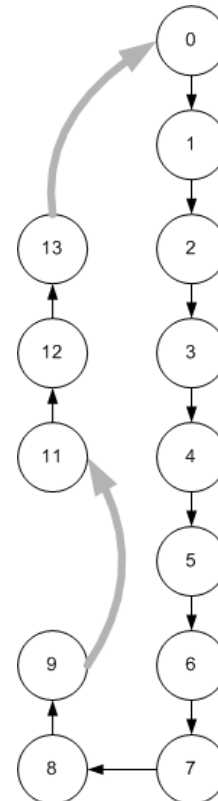
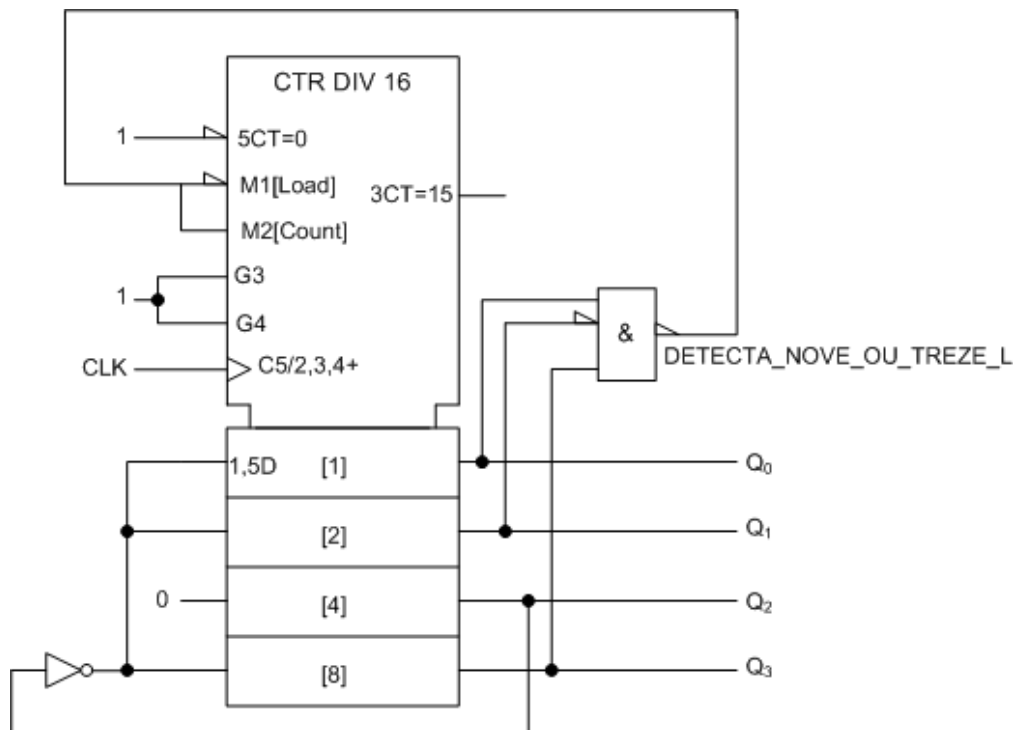
■ Contador Decimal

- ▶ Um contador decimal pode ser realizado directamente a partir de um contador módulo 16, forçando a reinicialização do contador após o estado 9.
- ▶ O sinal DETECTA_NOVE pode ser utilizado como indicador de fim de contagem.



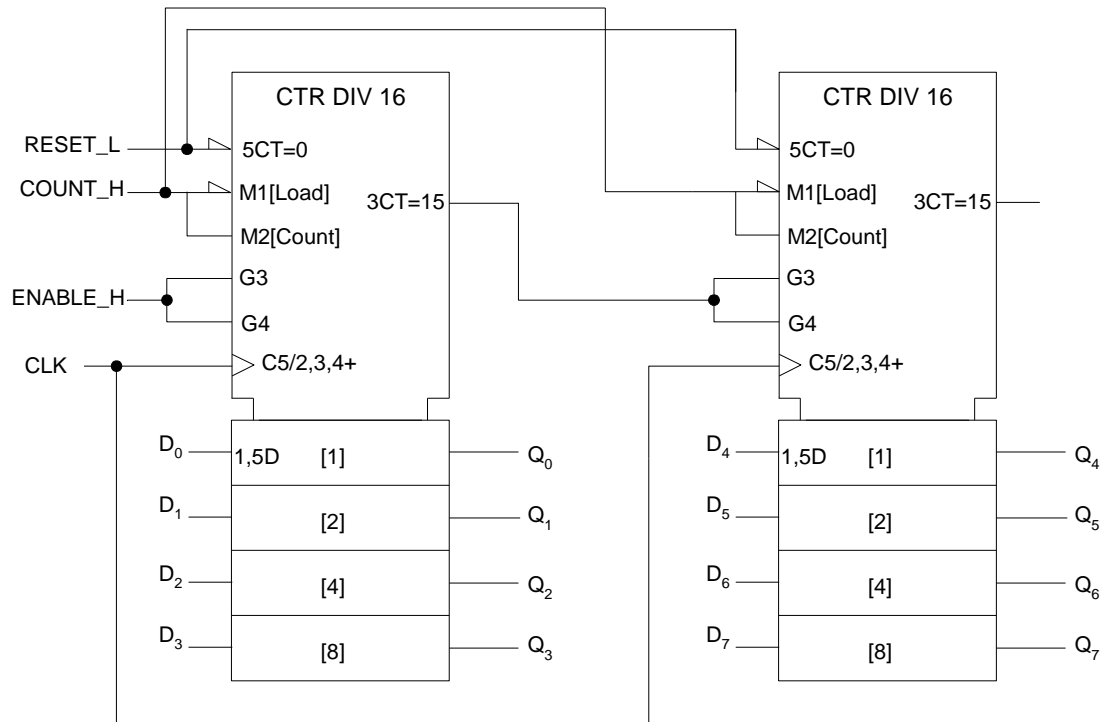
■ Contador com 2 “saltos” na contagem

- ▶ Este contador conta de 0 a 9, passa para o estado 11, conta de 11 a 13, e volta ao estado 0.



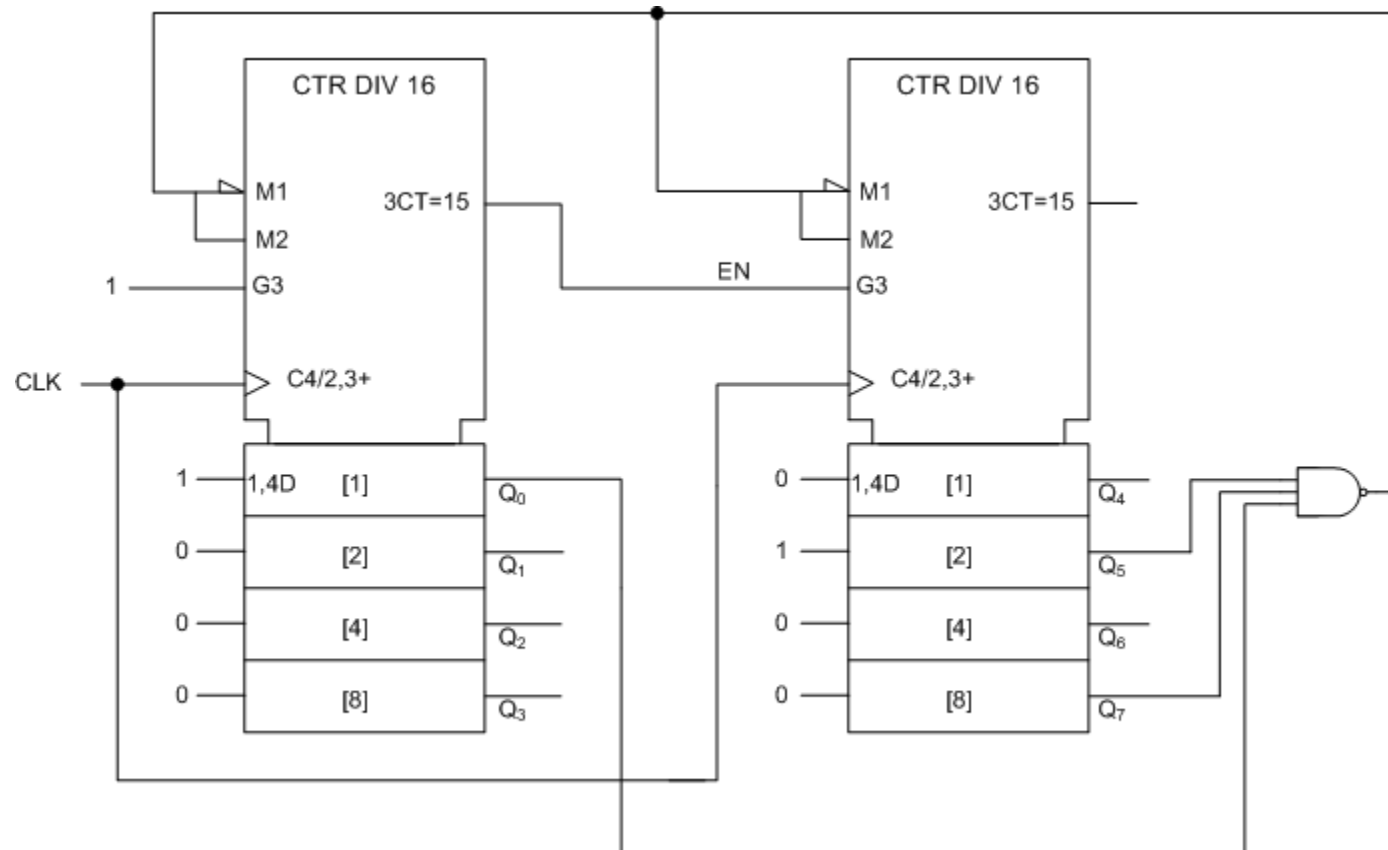
■ Ligação em Série de Contadores (1)

- ▶ Um contador módulo 256 pode ser realizado ligando em série 2 contadores módulo 16.
- ▶ O 2º contador só é habilitado quando o 1º chega ao fim de contagem (o sinal de fim de contagem do 1º contador está ligado ao enable do 2º contador)



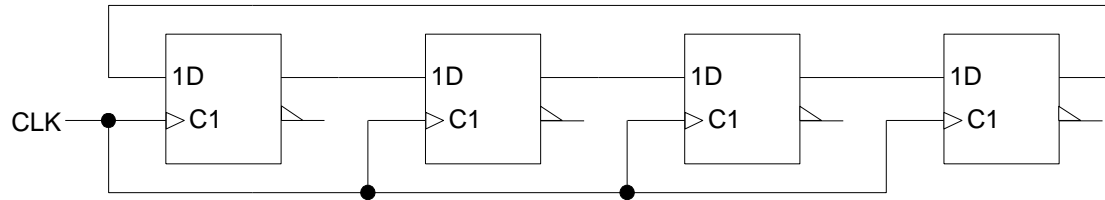
■ Ligação em Série de Contadores (2)

- Este contador faz uma sequência de contagem de 33 a 161

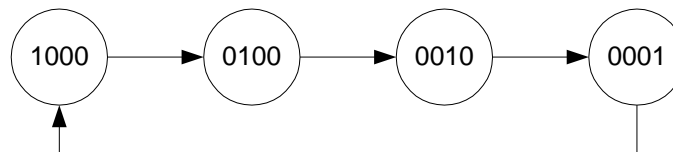


■ Contador em Anel – “Ring Counter”

- ▶ A ligação de N flip-flops em cascata, como registo de deslocamento, pode também ser usada como um contador simples, usando o mínimo de hardware.



- ▶ O contador evolui segundo a seguinte sequência de 4 estados e depois repete:



- ▶ O contador é muito rápido (não existem portas lógicas no caminho entre FFs)...

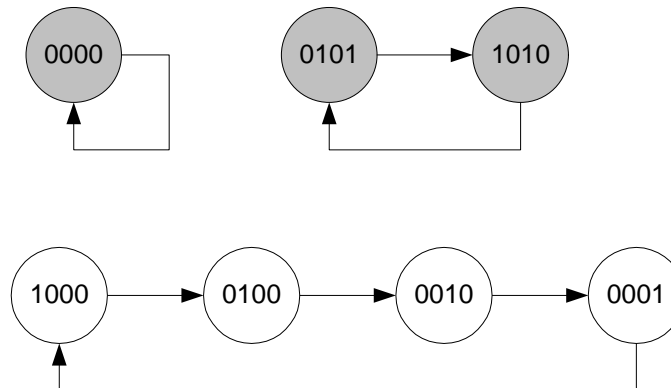
$$f_{\max} = \frac{1}{T_{\min}} = \frac{1}{t_{pFF} + t_{suFF}}$$

- ▶ ... mas é ineficiente em termos do número total de estados de contagem disponíveis (só usa N estados, dos 2^N estados disponíveis).

■ Contadores: “LOCK-OUT”

- ▶ Estados de LOCK-OUT: no caso de não serem utilizados todos os estados disponíveis, pode ocorrer a situação do contador se encontrar num estado não desejado (fora da sequência de contagem) devido a ruído no circuito ou à não imposição de estado inicial.
- ▶ Nessa situação ou o contador entra na sequência de contagem pretendida ou fica indefinidamente no exterior (Lock-Out).

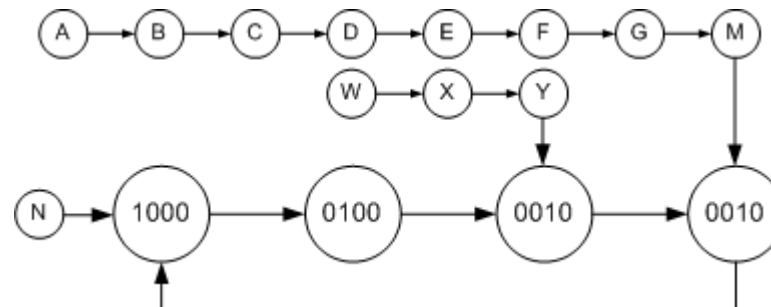
Exemplo com possibilidade de Lock-Out:



■ Contadores: “LOCK-OUT”

- ▶ Estados de LOCK-OUT: no caso de não serem utilizados todos os estados disponíveis, pode ocorrer a situação do contador se encontrar num estado não desejado (fora da sequência de contagem) devido a ruído no circuito ou à não imposição de estado inicial.
- ▶ Nessa situação ou o contador entra na sequência de contagem pretendida ou fica indefinidamente no exterior (Lockout).

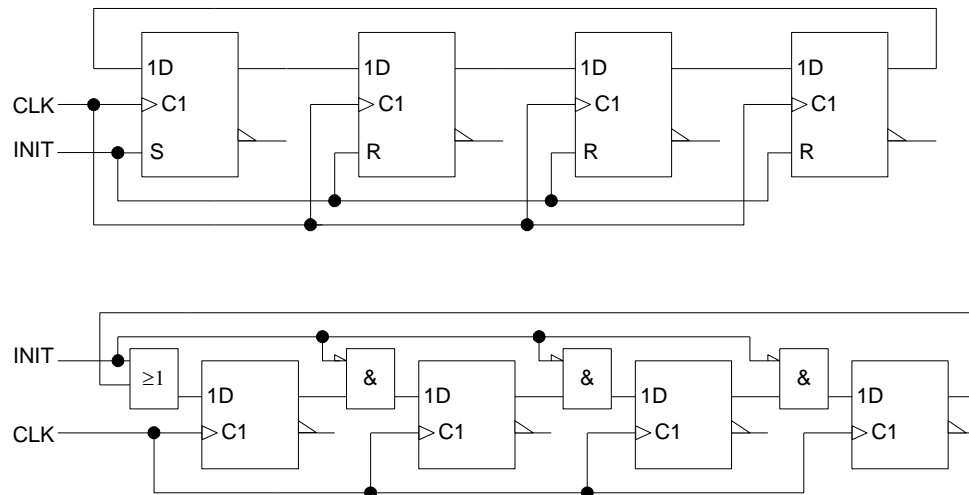
Exemplo sem possibilidade de Lock-Out: o contador acabará sempre por entrar na sequência pretendida



■ Contador em Lock-Out:

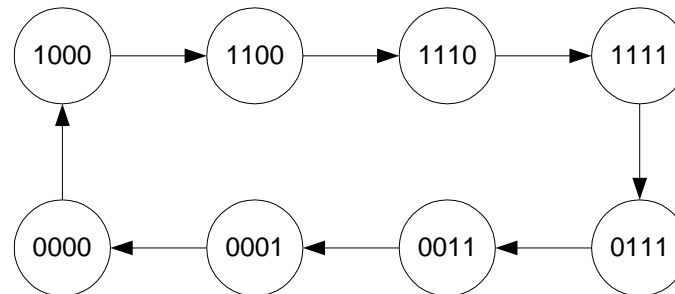
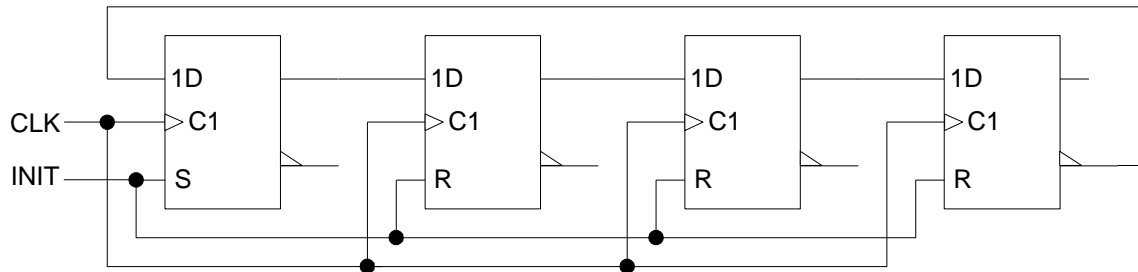
- ▶ **Solução 1:** impor a transição de qualquer estado externo para um estado da sequência de contagem
- ▶ **Solução 2:** considerar uma entrada extra, de inicialização, que coloque o sistema num dos estados de contagem pretendido.

Alternativas de Inicialização no Estado “1000”:



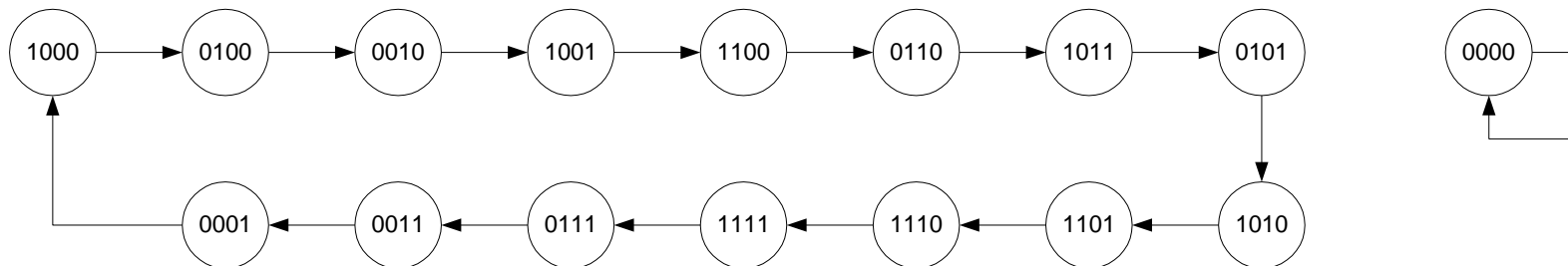
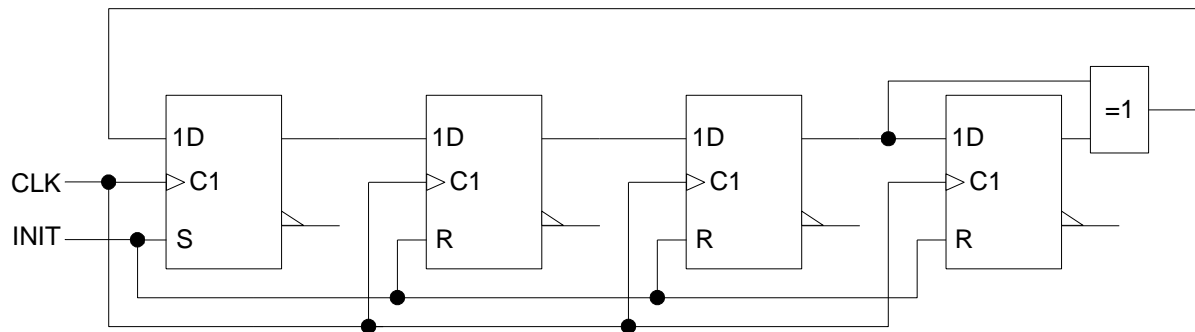
■ Contador Johnson

- ▶ O contador Johnson usa $2N$ dos 2^N estados disponíveis, mantendo a rapidez do contador em anel.



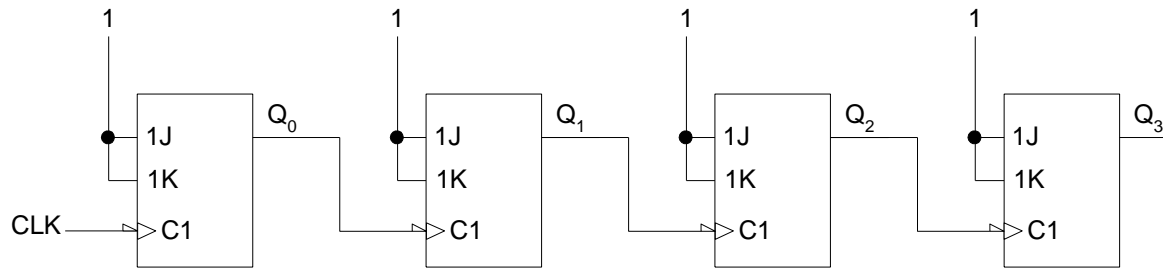
■ Linear Feedback Shift-Register (LFSR)

- ▶ O LFSR usa $2^N - 1$ dos 2^N estados disponíveis, usando apenas uma porta lógica adicional.

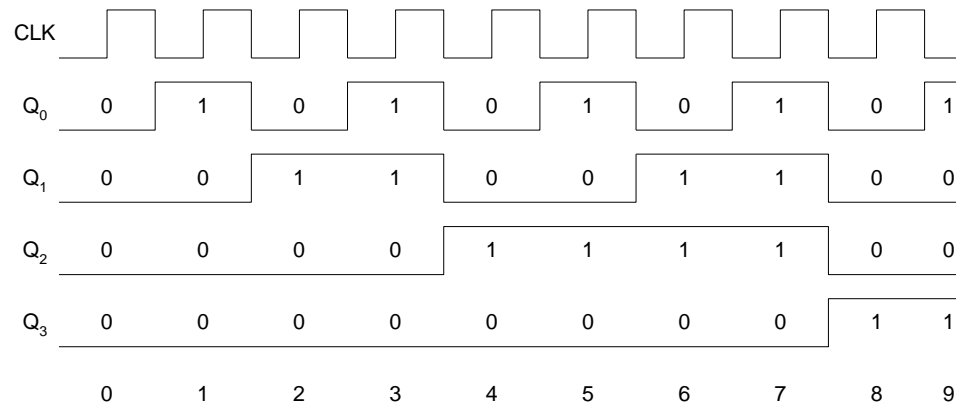


■ Contadores Assíncronos por Pulsação – “Ripple Counters”

- ▶ Os contadores por pulsação são extremamente simples de realizar.



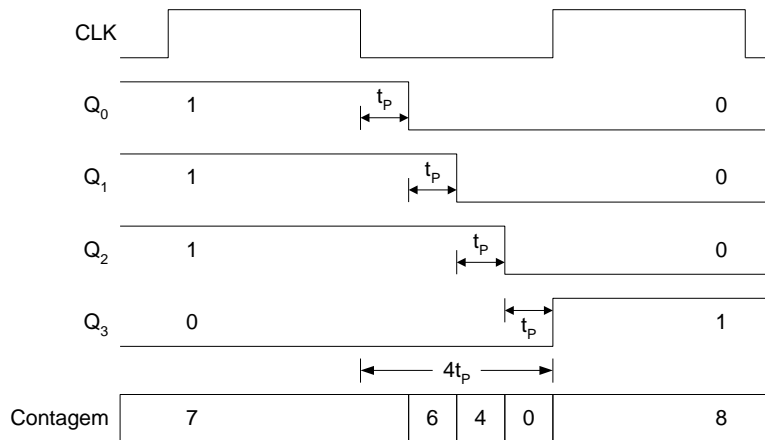
- ▶ No entanto, o facto de serem assíncronos (os FF não estão em sincronismo) torna-os pouco fiáveis, por dependerem dos atrasos de propagação do sinal.



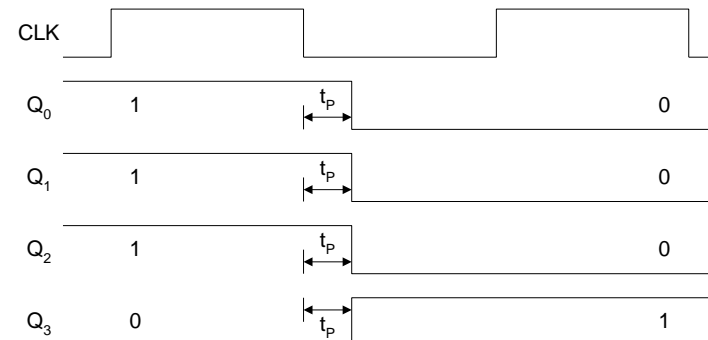
■ Contadores Assíncronos vs. Síncronos

- No contador assíncrono, as mudanças de estado não ocorrem todas na transição de relógio!

Exemplo: na transição de 7 para 8, o contador passa sucessivamente por vários estados intermédios.



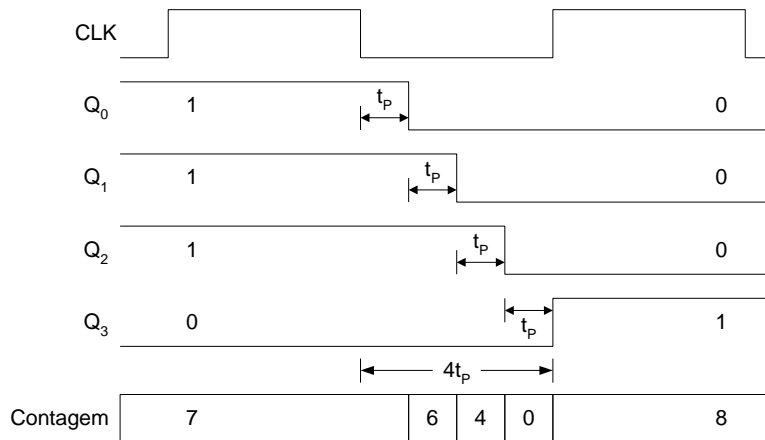
Contador Assíncrono



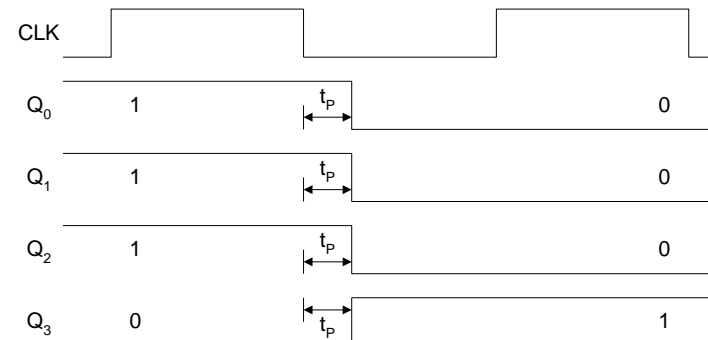
Contador Síncrono

■ Contadores Assíncronos vs. Síncronos

- ▶ Quanto mais FFs existirem, mais o bit de maior peso demora a transitar, o que torna os contadores por pulsação de grande dimensão muito lentos (o que limita, neste caso, o período de relógio).
- ▶ As realizações assíncronas são, portanto e genericamente, de evitar.



Contador Assíncrono



Contador Síncrono

■ Tema da Próxima Aula:

- ▶ Definição de circuito sequencial síncrono
- ▶ Máquinas de Mealy e de Moore
- ▶ Especificação de circuitos sequenciais síncronos:
 - Diagrama de estados
- ▶ Projecto de circuitos sequenciais síncronos:
 - Codificação dos estados
 - Tabela de transição de estados
 - Determinação das funções lógicas de saída e estado seguinte

Agradecimentos

Algumas páginas desta apresentação resultam da compilação de várias contribuições produzidas por:

- Nuno Roma
- Guilherme Arroz
- Horácio Neto
- Nuno Horta
- Pedro Tomás